

ФЕНОМЕНОЛОГІЧНА МОДЕЛЬ ГЕОТЕРМАЛЬНОЇ СИСТЕМИ ВІДКРИТОГО ТИПУ НА БАЗІ НАФТОГАЗОВОЇ СВЕРДЛОВИНИ



Михайло Фик

кандидат технічних наук
доцент кафедри переробки нафти,
газу та твердого палива
Національний технічний університет «ХП», Україна
mfyk@ukr.net



Володимир Білецький

доктор технічних наук
професор кафедри видобування нафти,
газу і газоконденсату
Національний технічний університет «ХП», Україна
biletsk@i.ua



Маджид Аббуд

аспірант кафедри видобування нафти,
газу і газоконденсату
Національний технічний університет «ХП», Україна
Misyac@i.ua

У роботі запропоновано теоретико-методологічний підхід до моделювання геотермальних свердловинних систем, який передбачає розробку: принципової технологічної схеми геотермальної системи; схеми трансформації та руху енергії та теплоносія; феноменологічної моделі (див. Рис.); аналіз субпроцесів і отримання їх математичних моделей і на цій основі математичної моделі геотермальної моделі в цілому. Розглянуто приклад перспективної геотермальної свердловинної системи відкритого типу на базі нафтогазової свердловини з одним контуром циркуляції та паралельним включенням теплових насосів в характерних точках системи. Виконано аналіз субпроцесів розробленої феноменологічної моделі та висвітлено характерні особливості їх математичного опису; зокрема,

показано, що перерозподіл теплової потужності, яка надходить від флюїдонасиченого пласта суттєво залежить від геометрії бокових стовбурів.

Розроблена феноменологічна модель може вважатись універсальною при експлуатації лише одного горизонту на певній глибині, але при розкритті нафтогазової свердловини на глибинах декількох пластів геотермальних горизонтів кількість вибійних теплових насосів та зон вертикальної диференціації потрібно збільшувати на кількість додатково-освоєних горизонтів. Це необхідно для зменшення теплового потенціалу циркулюючого теплоносія до мінімального значення перед входженням в пласт. Відповідно до цього трансформується і конфігурація феноменологічної моделі.

Інша важлива особливість в роботі – моделювання вибійного теплового насоса та режимів в схемі загалом, що спирається на масову витрату теплоносія в контурі циркуляції останнього. Узагальнена формула теплової потужності проаналізованої перспективної геотермальної свердловинної системи:

$$W = W_{sum} - W_{10} - W_6 = W_1 + W_2 + W_3 + W_4 + W_5 - W_6 - W_{10},$$

де W – сумарна потужність теплової, гідравлічної та механічної енергії, Дж/с; W_{sum} – сумарна тепла потужність від пластових та приколонних флюїдонасичених порід; W_2, W_3, W_4 – тепла потужність набута боковими стовбурами та привибійною зоною; W_6 – теплові втрати в підземній частині колон, зовні нагнітальної колони; W_5 – тепла потужність, що набувається теплоносієм в зоні колон та ліфтується до поверхні; W_{10} – загальні втрати потужності на привід всіх насосів.

Прихід теплової потужності W_{sum} від субпроцесів 1.1 та 1.2 до 2.1 – 2.3 та поелементний перерозподіл тепла залежить від розподілу температур з привибійної зони пласта та бокових стовбурах. Такий аналіз проведений в роботах інших дослідників та може бути використаний при імплементації даної технологічної схеми у виробництво. Підхід базується на методі покрокового зменшення чарунки векторно-параметричної ґратки з перерахунками режимних карт в циклі. Субпроцеси 4.1 – 4.8 та 5.1 – 5.3 добре описані з точки зору їх моделювання в представлених-раніше роботах. Отже, майже всі наведені субпроцеси добре описуються відомими математичними та алгоритмічними методами. Виключення складають субпроцеси лінійки 3.1 – 3.3, які мають феномени гравітаційних явищ в субпроцесах 3.1 – 3.2 та балансно-компенсаційний феномен в субпроцесі 3.3, що накладаються на теплові процеси перерозподілу проходження потужностей в схемі.

Аналіз повної системи аналітичних залежностей в роботі з використанням прикладу схемно-технологічної організації показує, що кількісний показник передачі потужності W_5 від вибійної частини лінії нагнітання до входу висхідного потоку в ліфтову колону може бути визначений лише за умови конкретної масової витрати теплоносія M_q . Отже, проектування теплообмінників типу «боковий стовбур – вибійний тепловий насос» повинно виконуватись з врахуванням всього діапазону масових витрат флюїду при його циркуляції.

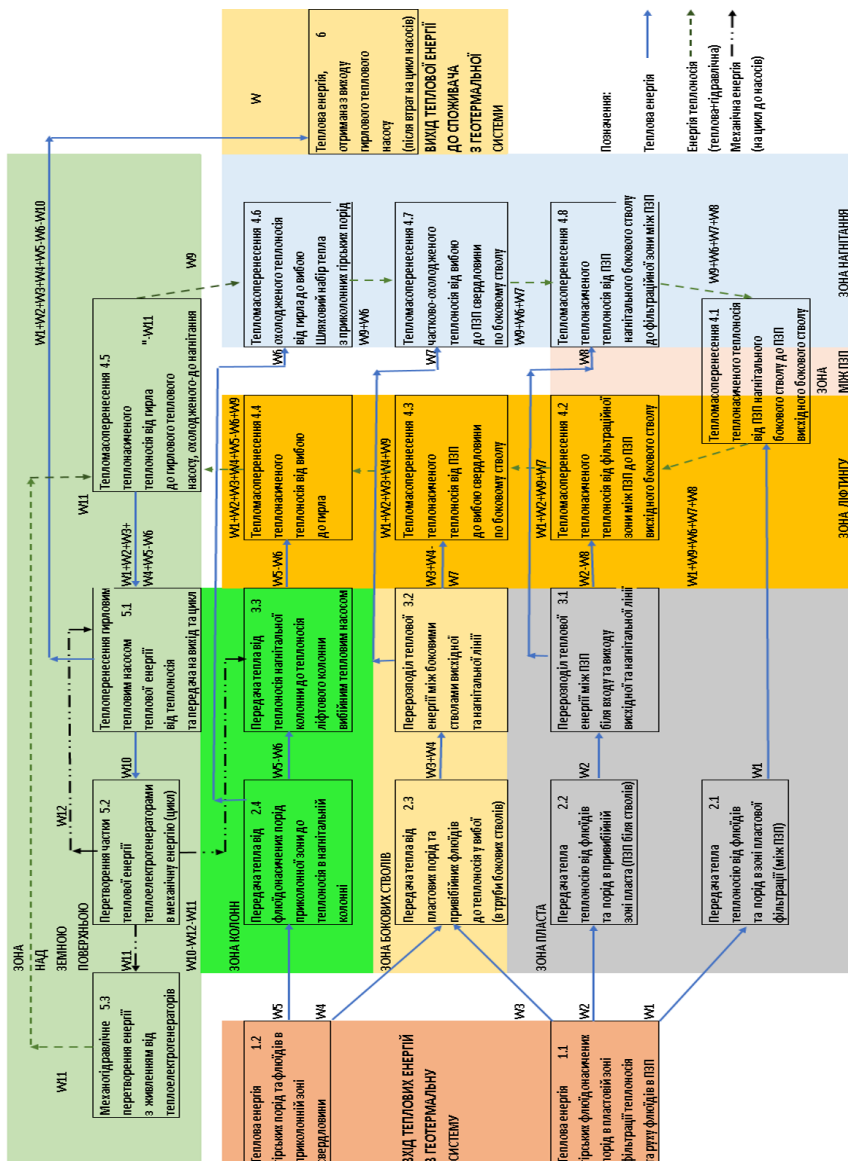


Рис. Феноменологічна модель геотермальної системи

Аналіз повної системи аналітичних залежностей в роботі з використанням прикладу схемно-технологічної організації показує, що кількісний показник передачі потужності W_5 від вибійної частини лінії нагнітання до входу висхідного потоку в ліфтову колону може бути визначений лише за умови конкретної масової витрати теплоносія M_q . Отже, проектування теплообмінників типу «боковий стовбур – вибійний тепловий насос» повинно виконуватися з врахуванням всього діапазону масових витрат флюїду при його циркуляції.

Робота виконувалася в чотири основні етапи з отриманням таких результатів:

1. Розроблена перспективна технологічна схема геотермальної системи, що враховує двостадійне паралельне помпування тепла від приколонного простору та пласта відкритої геотермальної односвердловинної системи, що має бокові стволи розгалуження вибою. При цьому враховано можливість встановлення теплообмінників вибійного теплового насоса на мережевій системі вибою за рахунок довжин бокових стволів з індивідуальними привибійними зонами.

2. Розроблена схема трансформації та руху енергії, що відповідає вказаній технологічній схемі та відповідна феноменологічна модель геотермальної системи.

3. Проаналізовано субпроцеси феноменологічної моделі та висвітлено характерні особливості їх математичного опису, зокрема, показано, що перерозподіл теплової потужності, яка надходить від флюїдонасиченого пласта суттєво залежить від геометрії бокових стовбурів. Інша важлива особливість – моделювання вибійного теплового насоса та режимів у схемі загалом, що спирається на масову витрату теплоносія в контурі циркуляції останнього.

4. Подана узагальнена формула теплової потужності проаналізованої перспективної геотермальної свердловинної системи.

Отже, розроблено теоретико-методологічний підхід до моделювання геотермальних свердловинних систем на основі застосування феноменологічного підходу дозволяє спростити і універсалізувати процедуру моделювання звівши її до аналізу окремих субпроцесів. Розглянуто перспективну геотермальну свердловинну систему відкритого типу з одним контуром циркуляції та паралельним включенням теплових насосів в характерних точках системи. Показано, що двостадійне паралельне помпування тепла від приколонного простору та пласта односвердловинної системи, що має бокові розгалуження вибою, кількісно залежить від геометрії бокових стовбурів.